

AN: PAT 2001-235351

TI: Optical fibre transmission system with dispersion compensation has dispersion compensation units for each fibre section, with residual dispersion per fibre section rising by same amount

PN: WO200122625-A1

PD: 29.03.2001

AB: The system includes dispersion compensation units which compensate for the fibre dispersion of several fibre sections so that the remaining residual dispersion per compensated fibre section rises by the same amount,  $\Delta D$ . The optical transmission system has an accumulated residual dispersion (caused by fibre nonlinearities and fibre dispersion) that decreases linearly with increasing data rate. The optical fibre sections have approximately the same length.; USE- E.g. for WDM. ADVANTAGE - Improved dispersion compensation for increased distance.

PA: (SIEI ) SIEMENS AG;

IN: FAERBERT A; SCHEERER C;

FA: WO200122625-A1 29.03.2001; JP2003516651-W 13.05.2003;

DE19945143-A1 12.04.2001; EP1214805-A1 19.06.2002;

CO: AT; BE; CA; CH; CY; DE; DK; EP; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; JP; LI; LU; MC; NL; PT; SE; US; WO;

DN: CA; JP; US;

DR: AT; BE; CH; CY; DE; DK; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; LU; MC; NL; PT; SE; LI;

IC: H04B-010/02; H04B-010/18; H04B-010/24;

MC: S03-A05E; V07-G10; V07-G11; V07-K04; W02-C04A7;

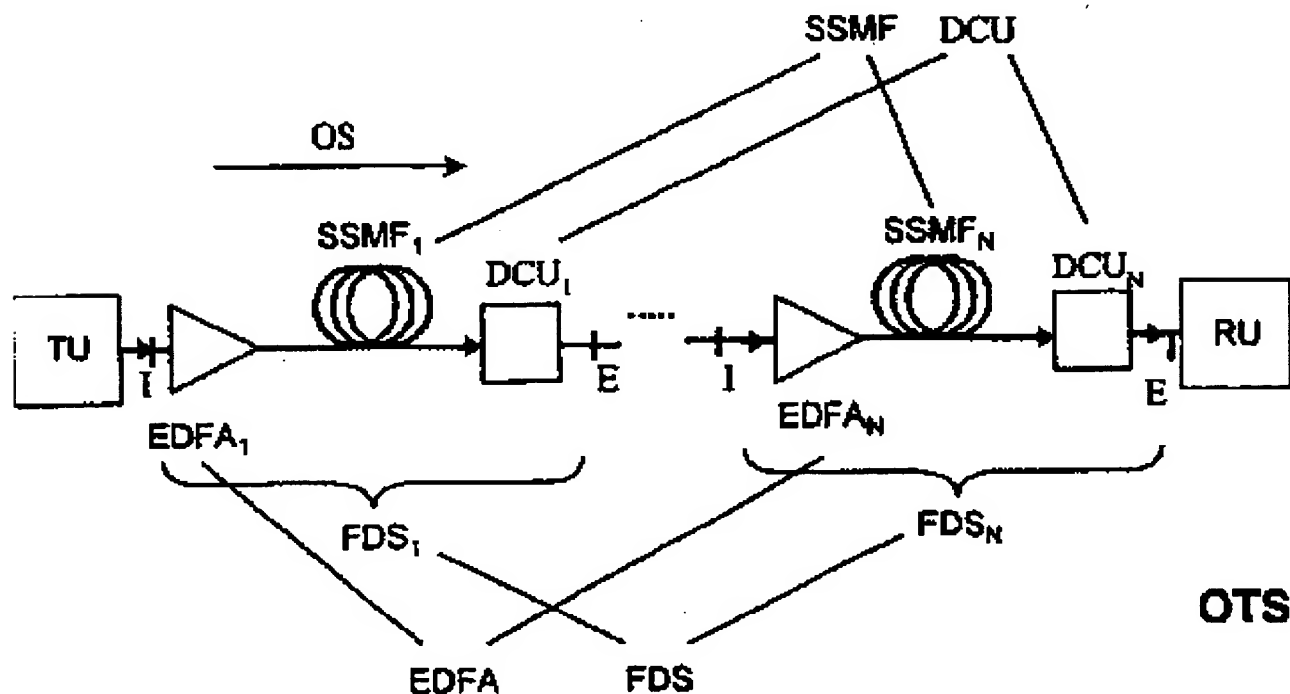
DC: S03; V07; W02;

FN: 2001235351.gif

PR: DE1045143 21.09.1999;

FP: 29.03.2001

UP: 29.05.2003



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 199 45 143 A 1

51 Int. Cl. 7:  
H 04 B 10/18  
H 04 B 10/24

21 Aktenzeichen: 199 45 143.5  
22 Anmeldetag: 21. 9. 1999  
43 Offenlegungstag: 12. 4. 2001

71 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:  
Färbert, Andreas, Dr., 81827 München, DE;  
Scheerer, Christian, Dipl.-Ing., 81375 München, DE

56 Entgegenhaltungen:

US 58 01 858 A  
US 56 29 795 A

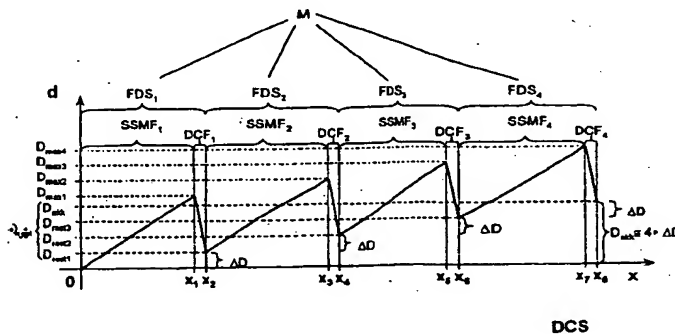
GRAU, G. und FREUDE, W.: Optische Nachrichten-  
technik - Eine Einführung, Springer Verlag,  
Berlin Heidelberg New York, 3. Aufl. 1991,  
ISBN 3-540-53872-0, S. 120-126, Der Fernmelde-  
Ingenieur, 53. Jg. Heft 5/6 Mai/Juni 1999,  
Issn 0015-010X, S. 18-24;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Optisches Übertragungssystem

57 Die Erfindung betrifft ein optisches Übertragungssystem (OTS), bestehend aus mehreren optischen Faserstreckenabschnitten (FDS) mit jeweils einer optischen Faser (SSMF) und einer Dispersionskompensationseinheit (DCF), bei dem Dispersionskompensationseinheiten (DCF) vorgesehen sind, die die Faserdispersion ( $d$ ) von mehreren Faserstreckenabschnitten (FDS<sub>1</sub> bis FDS<sub>4</sub>) derart kompensieren, daß die verbleibende Rest-Dispersion ( $D_{\text{rest}}$ ) pro kompensierten Faserstreckenabschnitt (FDS<sub>1</sub> bis FDS<sub>4</sub>) zumindest nahezu gleichmäßig um jeweils denselben Dispersionsbetrag ( $\Delta D$ ) ansteigt.



DE 199 45 143 A 1

DE 199 45 143 A 1

Die Erfindung betrifft ein optisches Übertragungssystem bestehend aus mehreren optischen Faserstreckenabschnitten mit jeweils einer optischen Faser und einer Dispersionskompensationseinheit.

Bei allen optischen Übertragungssystemen mit hohen Datendurchsatzraten, so auch bei nach dem WDM-Prinzip (Wavelength Division Multiplexing) arbeitenden Übertragungssystemen, werden durch die bei der Übertragung von optischen Signalen über optische Fasern auftretende chromatische Dispersion und die Selbstphasenmodulation (SPM) Verzerrungen in dem zu übertragenden, optischen Datensignal hervorgerufen – siehe hierzu Grau und Freude: "Optische Nachrichtentechnik – Eine Einführung", Springer-Verlag, 3. Auflage, 1991, S. 120–126.

Derartige Verzerrungen des zu übertragenden, optischen Datensignals sind unter anderem abhängig von der Eingangsleistung des optischen Datensignals. Desweiteren wird durch derartige Verzerrungen die regenerationsfreie Übertragungsbereichweite eines optischen Übertragungssystems bestimmt, d. h. die optische Übertragungsstrecke über die ein optisches Datensignal übertragen werden kann, ohne daß eine Regeneration bzw. "3R-Regeneration" (elektronische Datenregeneration hinsichtlich der Amplitude, Flanke und des Taktes eines optisch übermittelten, digitalen Datensignals bzw. Datenstromes) durchgeführt werden muß.

Um derartige Verzerrungen des optischen Datensignals zu kompensieren, werden bei der Übertragung von optischen Signalen über optische Standard-Monomodenfasern geeignete Dispersionskompensationseinheiten vorgesehen bzw. ein an die optische Übertragungsstrecke angepaßtes Dispersionsmanagement eingesetzt. Hierzu sind derartige optische Übertragungssysteme überwiegend in mehrere optische Faserstreckenabschnitte unterteilt, in denen die jeweils in dem betrachteten optischen Faserstreckenabschnitt hervorgerufene Faserdispersion mit Hilfe einer Dispersionskompensationseinheit komplett oder teilweise kompensiert wird.

Derartige Dispersionskompensationseinheiten sind beispielsweise als optische Spezialfasern ausgestaltet, bei denen durch eine spezielle Wahl des Brechzahlindexprofils im Faserkern und den umliegenden Mantelschichten der optischen Faser die Dispersion bzw. Faserdispersion, insbesondere im 1550 nm Fenster sehr hohe negative Werte annimmt. Mit Hilfe der durch die dispersionskompensierende Faser hervorgerufenen, hohen negativen Dispersionswerte können die durch die optischen Übertragungsfasern erzeugten Dispersionsbeiträge effektiv kompensiert werden. Zusätzlich ist die maximale Anzahl von optischen Faserstreckenabschnitten bzw. die regenerationsfreie Reichweite des optischen Übertragungssystems durch das Augendiagramm ("eye-opening") des am Ausgang des jeweiligen optischen Faserstreckenabschnitts anliegenden optischen Datensignals bestimmt. Hierdurch ergibt sich eine maximale Reichweite für eine regenerationsfreie Übertragung eines optischen Datensignals, die zusätzlich durch das optische Signal-Rausch-Verhältnisses des Übertragungsmediums bestimmt ist.

In bislang realisierten optischen Übertragungssystemen werden hierzu unterschiedliche Dispersionsmanagementkonzepte verfolgt, wobei die optimale Dispersionskompensation einer optischen Übertragungsstrecke durch Verwendung von vor- und/oder nachkompensierten bzw. unterschiedlich über- oder unterkompensierten optischen Faserstreckenabschnitten durchgeführt wird: Abhängig von der Faserdispersion kann damit eine bestimmte Entfernung regenerationsfrei übertragen werden.

Hierzu ist aus DER FERMELDE-INGENIEUR:

"Wellenlängenmultiplextechnik in zukünftigen photonischen Netzen", A. Ehrhardt et. al., 53. Jahrgang, Heft 5 und 6, Mai/Juni 1999, S. 18–24 bekannt, daß das Systemoptimum zur Dispersionskompensation eines optischen Übertragungssystems bei einer Dispersionskompensation von unter 100% erreicht werden kann. Desweiteren geht aus der obengenannten Druckschrift hervor, daß die chromatische Faserdispersion zu einem bestimmten Teil durch Fasernichtlinearitäten selbst kompensiert werden kann.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht also darin, ein optisches Übertragungssystem der eingangs erwähnten Art derart auszugestalten, daß die Dispersionskompensation verbessert wird und/oder die durch die Signalverzerrungen reduzierte, regenerationsfrei überbrückbare Übertragungsbereichweite erhöht wird. Die Aufgabe wird ausgehend von den im Oberbegriff von Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein optisches Übertragungssystem gelöst, bei dem Dispersionskompensationseinheiten vorgesehen sind, die die Faserdispersion von mehreren Faserstreckenabschnitten derart kompensieren, daß die verbleibende Rest-Dispersion pro kompensierten Faserstreckenabschnitt zumindest nahezu gleichmäßig um jeweils denselben Dispersionsbetrag ansteigt. Vorteilhaft wird durch das erfindungsgemäße nahezu gleichmäßig verteilte Unterkompensieren über die einzelnen optischen Faserstreckenabschnitte im Vergleich zu bisherigen Systemen mit Vollkompensation eine nahezu Verdopplung der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsbereichweite ermöglicht, d. h. in den jeweiligen Faserstreckenabschnitten wird soweit unterkompensiert bis die verbleibende Rest-Dispersion einem Vielfachen des erfindungsgemäßen Dispersionsbetrags entspricht, wobei die Rest-Dispersion entlang der optischen Übertragungsstrecke pro Faserstreckenabschnitt jeweils um den Dispersionsbetrag zunimmt.

Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weist das optische Übertragungssystem eine durch Fasernichtlinearitäten und die Faserdispersion hervorgerufene, akkumulierte Rest-Dispersion auf, die mit zunehmender Datenrate nahezu linear abnimmt – Anspruch 2. Der nichtlineare Effekt Selbstphasenmodulation und die Group Velocity Dispersion (GVD) sind die Ursache für die akkumulierte Rest-Dispersion am Ende des letzten Faserstreckenabschnitts der optischen Übertragungsstrecke. Sie sind bei vollkompensierten Faserstreckenabschnitten nahezu unabhängig von der Eingangsleistung des optischen Datensignals und beeinflussen sich gegenseitig, d. h. die Selbstphasenmodulation kann eine dispersionskompensierende Wirkung aufweisen. Desweiteren nimmt mit zunehmender Datenrate die Group Velocity Dispersion in den optischen Fasern zu, während die Selbstphasenmodulation nahezu unverändert bleibt. Somit trägt die Selbstphasenmodulation (SPM) im optischen Übertragungssystem zur Dispersionskompensation bei, wobei die dispersionskompensierende Wirkung der Selbstphasenmodulation (SPM) mit zunehmender Datenrate hinsichtlich der Group Velocity Dispersion geringer wird, d. h. die akkumulierte Rest-Dispersion nimmt ab mit zunehmender Datenrate.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind die Dispersionskompensationseinheiten zur Kompensation der Faserdispersion von allen optischen Faserstreckenabschnitten vorgesehen – Anspruch 3. Nimmt auf vorteilhafte Weise in allen Faserstreckenabschnitten des optischen Übertragungssystems die Rest-Dispersion jeweils zumindest nahezu gleichmäßig um denselben Dispersionsbeitrag zu, so kann die maximale regenerationsfrei überbrückbare Übertragungsbereichweite realisiert werden.

Vorteilhaft weisen alle optischen Faserstreckenabschnitte des optischen Übertragungssystems nahezu dieselbe Länge auf – Anspruch 4, wobei zusätzlich die optischen Fasern der Faserstreckenabschnitte eine Mindestlänge von 20 Kilometern aufweisen – Anspruch 6. Bei einer Mindestlänge von ca. 20 Kilometern besitzen die durch die Faserdispersion und die Fasernichtlinearitäten hervorgerufenen Signalverzerrungen nahezu den Maximalwert. Durch die Aufteilung des optischen Übertragungssystems in nahezu gleich lange optische Faserstreckenabschnitte, deren Anzahl durch die regenerationsfrei zu überbrückende optische Übertragungsstrecke und der akkumulierten Rest-Dispersion bestimmt wird, kann durch eine einfache modulare Bauweise ein hinsichtlich der Dispersionkompensation und der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweite optimiertes optisches Übertragungssystem realisiert werden. Insbesondere kann durch den dadurch bedingten symmetrischen Aufbau das optische Übertragungssystem besonders vorteilhaft in einem bidirektionalen Betriebsmodus betrieben werden – Anspruch 7.

Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausbildungen des erfindungsgemäßen optischen Übertragungssystems sind in den weiteren Patentansprüchen beschrieben.

Die Erfindung soll im folgenden anhand eines Prinzipschaltbildes und zweier Diagramme näher erläutert werden.

Fig. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines optischen Übertragungssystems,

Fig. 2 zeigt in einem Diagramm das erfindungsgemäße Dispersionmanagementschema und

Fig. 3 zeigt in einem weiteren Diagramm die regenerationsfrei überbrückbare Anzahl der kompensierten Faserstreckenabschnitte in Abhängigkeit von der verteilten Unter- bzw. Überkompensation.

In Fig. 1 ist ein optisches Übertragungssystem OTS schematisch dargestellt, das eine optische Sendeeinrichtung TU und eine optische Empfangseinrichtung RU aufweist. Die optische Sendeeinrichtung TU ist über N optische, jeweils einen Eingang I und einen Ausgang E aufweisende Faserstreckenabschnitte  $FDS_1$  bis  $FDS_N$  mit der optischen Empfangseinrichtung RU verbunden, die jeweils einen optischen Verstärker EDFA, eine optische Faser SSMF und eine optische Dispersionskompensationseinheit DCU aufweisen.

In Fig. 1 sind beispielhaft ein erster und N-ter optischer Faserstreckenabschnitt  $FDS_1$ ,  $FDS_N$  dargestellt, wobei ein zweiter bis N – 1-ter Faserstreckenabschnitt  $FDS_2$  bis  $FDS_{N-1}$  anhand einer punktierten Linie angedeutet sind. Desweiteren besteht der erste optische Faserstreckenabschnitt  $FDS_1$  aus einem ersten optischen Verstärker EDFA<sub>1</sub>, einer ersten optischen Faser SSMF<sub>1</sub>, beispielsweise einer optischen Standard-Single-Mode-Faser, sowie aus einer ersten optischen Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>1</sub>, wobei zwischen der ersten optischen Faser SSMF<sub>1</sub> und der ersten optischen Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>1</sub> noch ein optischer Vorverstärker – in Fig. 1 nicht dargestellt – vorgesehen werden kann. Analog dazu weist der N-te optische Faserstreckenabschnitt  $FDS_N$  einen N-ten optischen Verstärker EDFA<sub>N</sub>, eine N-te optische Faser SSMF<sub>N</sub> und eine N-te optische Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>N</sub> auf. Analog kann auch hier zwischen N-ter optische Faser SSMF<sub>N</sub> und N-ter optischer Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>N</sub> ein weiterer optischer Vorverstärker – in Fig. 1 nicht dargestellt – vorgesehen sein.

Das optische Datensignal bzw. der optische Datenstrom OS wird von der optischen Sendeeinrichtung TU zum Eingang I des ersten optischen Faserstreckenabschnitts  $FDS_1$  übermittelt. Innerhalb des ersten optischen Faserstreckenabschnitts  $FDS_1$  wird das optische Datensignal OS mit Hilfe des ersten optischen Verstärker EDFA<sub>1</sub> verstärkt und über

die erste optische Faser SSMF<sub>1</sub> zur ersten Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>1</sub> übertragen. In der ersten Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>1</sub> werden die durch die optische Übertragung über die erste optische Faser SSMF<sub>1</sub> hervorgerufenen Signalverzerrungen des optischen Datensignals OS bis auf eine erste Rest-Dispersion  $D_{rest1}$ , die im Falle der ersten Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>1</sub> dem erfindungsgemäßen Dispersionsbetrag  $\Delta D$  entspricht, kompensiert. Die festgelegte Rest-Dispersion  $D_{rest}$  ist ein durch die Anzahl N der optischen Faserstreckenabschnitte FDS festgelegter Bruchteil der akkumulierten Rest-Dispersion  $D_{akk}$ , der nahezu gleichmäßig mit jedem kompensierten Faserstreckenabschnitt FDS um nahezu denselben Dispersionsbetrag  $\Delta D$  ansteigt.

Die akkumulierte Rest-Dispersion  $D_{akk}$  wird durch die Fasernichtlinearitäten und die Faserdispersion hervorgerufen und liegt am Ende des N-ten Faserstreckenabschnitts  $FDS_N$  vor. Außerdem wird die akkumulierte Rest-Dispersion  $D_{akk}$  aufgrund der für die Rückgewinnung der Daten aus dem optischen Datensignal OS geforderten Parametern für das Augendiagramm "eye-opening" am Ende des N-ten Faserstreckenabschnitts  $FDS_N$  nicht kompensiert. Somit ist das am Ausgang E des ersten optischen Faserstreckenabschnitts  $FDS_1$  anliegende optische Datensignal OS nicht vollständig dispersionskompensiert, sondern unterkompensiert.

Analog dazu wird das optische Datensignal OS über die weiteren optischen Faserstreckenabschnitte FDS zum Eingang I des N-ten optischen Faserstreckenabschnitts  $FDS_N$  übertragen. Das am Eingang I des N-ten optischen Faserstreckenabschnitts  $FDS_N$  anliegende optische Datensignal OS wird mit Hilfe des N-ten optischen Verstärker EDFA<sub>N</sub> verstärkt und über die N-te optische Faser SSMF<sub>N</sub> zu der N-ten Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>N</sub> übermittelt. In der N-ten Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>N</sub> wird die von der N-ten optischen Faser SSMF<sub>N</sub> hervorgerufene Faserdispersion des optischen Datensignals OS teilweise kompensiert, woraus erkennbar ist, daß die Rest-Dispersion  $D_{rest}$  des optischen Datensignals OS nahezu gleichmäßig um den vorgegebenen Dispersionsbetrag  $\Delta D$  ansteigt und nach der N-ten Dispersionskompensation der akkumulierten Rest-Dispersion  $D_{akk}$  entspricht. Das am Ausgang E des N-ten optischen Faserstreckenabschnitts  $FDS_N$  anliegende optische Datensignal OS wird zur optischen Empfangseinrichtung RU übertragen und gegebenenfalls vor der Weiterverarbeitung einer 3R-Regeneration unterzogen – nicht in Fig. 1 dargestellt.

In Fig. 2 ist beispielhaft ein erfindungsgemäßes Dispersionmanagementschema DCS anhand eines Diagramms schematisch dargestellt. Daraus wird deutlich, daß sich das optische Übertragungssystem OTS erfindungsgemäß aus mehreren optischen Faserstreckenabschnitten FDS zusammensetzt, die jeweils eine optische Faser SSMF und eine Dispersionskompensationseinheit DCF, beispielsweise eine dispersionskompensierende Faser, aufweisen. Zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Dispersionmanagementschemas DCS ist die Anzahl der optischen Faserstreckenabschnitte auf vier ( $N = 4$ ) beschränkt, so daß in Fig. 2 sind ein erster, zweiter, dritter und vierter optischer Faserstreckenabschnitt  $FDS_1$ ,  $FDS_2$ ,  $FDS_3$ ,  $FDS_4$  dargestellt sind, wobei der erste optische Faserstreckenabschnitt  $FDS_1$  eine erste optische Faser SSMF<sub>1</sub> und eine erste optische Dispersionskompensationseinheit DCF<sub>1</sub>, der zweite optische Faserstreckenabschnitt  $FDS_2$  eine zweite optische Faser SSMF<sub>2</sub> und eine zweite optische Dispersionskompensationseinheit DCF<sub>2</sub>, der dritte optische Faserstreckenabschnitt  $FDS_3$  eine dritte optische Faser SSMF<sub>3</sub> und eine dritte optische Dispersionskompensationseinheit DCF<sub>3</sub> und der vierte optische Faser-

streckenabschnitt FDS<sub>4</sub> eine vierte optische Faser SSMF<sub>4</sub> und eine vierte optische Dispersionskompensationseinheit DCF<sub>4</sub> aufweist. Hierbei ist für das Dispersionsmanagement-schema DCS des Ausführungsbeispiels beispielsweise eine nahezu gleiche Länge für die erste bis vierte optische Faser SSMF<sub>1</sub> bis SSMF<sub>4</sub> sowie für die erste bis vierte dispersionskompensierende Faser DCF<sub>1</sub> bis DCF<sub>4</sub> gewählt.

Das Diagramm weist eine horizontale (Abszisse) und eine vertikale Achse (Ordinate)  $x, d$  auf, wobei durch die horizontale Achse die Entfernung  $x$  von der optischen Sendeeinrichtung TU bzw. die Reichweite der optischen Datenübertragung und durch die vertikale Achse  $d$  die Faserdispersion  $d$  in der jeweiligen optischen Faser SSMF bzw. in der dispersionskompensierenden Faser DCF dargestellt ist.

Anhand Fig. 2 wird deutlich, daß die Faserdispersion eines am Eingang I des ersten optischen Faserstreckenabschnitts FDS<sub>1</sub> anliegenden optischen Datensignals OS von der optischen Sendeeinrichtung TU ( $x = 0$ ) entlang der ersten optischen Faser SSMF<sub>1</sub> linear ansteigt und am Ende der ersten optischen Faser  $x_1$  einen ersten maximalen Dispersionsbetrag  $D_{\max 1}$  annimmt. Der erste maximale Dispersionsbetrag  $D_{\max 1}$  wird mit Hilfe der ersten Dispersionskompensationseinheit DCF<sub>1</sub> bzw. der ersten dispersionskompensierenden Faser teilweise kompensiert, d. h. am Ende der ersten dispersionskompensierenden Faser  $x_2$  liegt eine erste Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}1}$  vor, die am Ausgang E der ersten Dispersionskompensationseinheit DCF<sub>1</sub> dem Dispersionsbetrag  $\Delta D$  entspricht.

Durch die sich anschließende zweite optische Faser SSMF<sub>2</sub> nimmt die Faserdispersion  $d$  von der ersten Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}1}$  bis zu einem zweiten maximalen Dispersionsbetrag  $D_{\max 2}$  zu, welcher am Ende der zweiten dispersionskompensierenden Faser  $x_3$  vorliegt. Der zweite maximale Dispersionsbetrag  $D_{\max 2}$  wird mit Hilfe der zweiten Dispersionskompensationseinheit DCF<sub>2</sub> bzw. der zweiten dispersionskompensierenden Faser soweit kompensiert bis die zweite Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}2}$  dem zweifachen des Dispersionsbetrags  $\Delta D$  entspricht, d. h. die verbleibende Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}}$  steigt gleichmäßig pro optischen Faserstreckenabschnitt FDS jeweils um den Dispersionsbetrag  $\Delta D$  an. Somit liegt am Ende der zweiten dispersionskompensierenden Faser  $x_4$  eine zweite Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}2}$  vor, die am Ausgang E der zweiten Dispersionskompensationseinheit bzw. der zweiten dispersionskompensierenden Faser DCF<sub>2</sub> dem Zweifachen des Dispersionsbetrags  $\Delta D$  entspricht.

Das von der zweiten dispersionskompensierenden Faser DCF<sub>2</sub> an die dritte optische Faser SSMF<sub>3</sub> übermittelte optische Datensignal OS erfährt in der dritten optischen Faser SSMF<sub>3</sub> wiederum durch die Faserdispersion  $d$  hervorgerufene Signalverzerrungen, die am Ende der dritten optischen Faser  $x_5$  einen dritten maximalen Dispersionsbetrag  $D_{\max 3}$  annehmen. Der dritte Dispersionsbetrag  $D_{\max 3}$  wird durch die dritte optische Dispersionskompensationseinheit DCF<sub>3</sub> derartig unterkompensiert, daß die verbleibende dritte Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}3}$  dem Dreifachen des erfindungsgemäßen Dispersionsbetrags  $\Delta D$  entspricht, d. h. die Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}}$  nimmt am Ende der dritten dispersionskompensierenden Faser  $x_6$  eine dritte Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}3}$ , die im Vergleich zur zweiten Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}2}$  nochmals um den Dispersionsbetrag  $\Delta D$  zugenommen hat.

Desweiteren wird das am Ausgang E der dritten dispersionskompensierenden Faser DCF<sub>3</sub> anliegende optische Datensignal OS an die vierte und letzte optische Faser SSMF<sub>4</sub> des optischen Übertragungssystems OTS übermittelt. Anhand Fig. 2 wird deutlich, daß die Faserdispersion  $d$  weiterhin zunimmt und am Ende der vierten optischen Faser  $x_7$  einen vierten maximalen Dispersionsbetrag  $D_{\max 4}$  aufweist.

Mit Hilfe der vierten Dispersionskompensationseinheit DCF<sub>4</sub> wird der vierte maximale Dispersionsbetrag  $D_{\max 4}$  auf den Betrag der akkumulierten Rest-Dispersion  $D_{\text{akk}}$  reduziert, welcher dem Vierfachen des erfindungsgemäßen Dispersionsbetrags  $\Delta D$  entspricht. Somit weist am Ende der optischen Übertragungsstrecke bzw. am Ende des vierten Faserstreckenabschnitts  $x_8$  die verbleibende Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}}$  des optischen Übertragungssystems OTS den Betrag der akkumulierten Rest-Dispersion  $D_{\text{akk}}$  auf.

Durch das erfindungsgemäße gleichmäßige "Aufteilen" der für das jeweilige optische Übertragungssystem OTS berechneten bzw. geschätzten akkumulierten Rest-Dispersion  $D_{\text{akk}}$  auf eine festgelegte Anzahl von Faserstreckenabschnitten FDS wird die regenerationsfrei überbrückbare Übertragungsreichweite  $x_8$  nahezu verdoppelt. Hierbei werden die Faserstreckenabschnitte FDS des optischen Übertragungssystems, unabhängig von der Länge der jeweiligen optischen Faser SSMF, jeweils bis auf eine durch die akkumulierte Rest-Dispersion  $D_{\text{akk}}$  festgelegte Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}}$  unterkompensiert, wobei die Rest-Dispersion  $D$  von Faserstreckenabschnitt FDS<sub>1</sub> zu Faserstreckenabschnitt FDS<sub>2</sub> um jeweils denselben Dispersionsbetrag ansteigt.

Im Vergleich zu einem den jeweiligen Faserstreckenabschnitt FDS eines optischen Übertragungssystems OTS vollständig kompensierenden Dispersionsmanagement-schema DCS kann durch das erfindungsgemäße Dispersionsmanagement-schema DCS der verteilten Unterkompensation die regenerationsfrei überbrückbare Reichweite erheblich erhöht werden, welches zu einer Einsparung von kostenintensiven elektrischen 3R-Regenerationseinrichtungen führt.

Desweiteren ist aufgrund des aus Fig. 2 erkennbaren, symmetrischen Aufbaus des optischen Übertragungssystems OTS auf einfache Art und Weise eine bidirektionale Datenübertragung über die betrachteten Faserstreckenabschnitte FDS realisierbar.

Zusätzlich kann ein eine optische Faser SSMF und eine Dispersionskompensationseinheit DCF aufweisender Faserstreckenabschnitt FDS als optisches Übertragungsmodul M ausgestaltet sein. Somit kann das optische Übertragungssystem OTS durch eine Serienschaltung derartiger optischer Übertragungsmodule M gebildet werden. Eine derartige modulare Bauweise erleichtert die Realisierung einer optischen Übertragungsstrecke bzw. Erweiterung einer bestehenden optischen Übertragungsstrecke in der Praxis erheblich.

Weiterhin ist die Verwendung der erfindungsgemäßen, verteilten Unterkompensation besonders vorteilhaft bei optischen Übertragungssystemen, die aufgrund der Datenübertragung mit Hilfe von mehreren Übertragungskanälen eine starke Kreuz-Phasen-Modulation (XPM) als hinsichtlich der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweiten limitierenden Effekt aufweisen. Diese starke Kreuz-Phasen-Modulation (XPM) kann durch das erfindungsgemäße Vorsehen einer geringen, lokalen Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}}$  am Ende eines Faserstreckenabschnitts FDS unterdrückt werden. Somit wird durch die erfindungsgemäße verteilte Unterkompensation nicht nur die Selbstphasenmodulation (SPM) unterdrückt, sondern nahezu gleichzeitig der Einfluß der Kreuz-Phasen-Modulation (XPM) erheblich verringert.

In Fig. 3 ist in einem weiteren Diagramm die regenerationsfrei überbrückbare Anzahl der kompensierten Faserstreckenabschnitte  $n_{fs}$  in Abhängigkeit von der verteilten Unter- bzw. Überkompensation  $uoc$  für unterschiedliche Eingangsleistungen P4dBm, P6dBm, P9dBm, P12dBm, P15dBm des optischen Datensignals OS dargestellt.

Das weitere Diagramm weist eine horizontale (Abszisse) und eine vertikale Achse (Ordinate)  $uoc, n_{fs}$  auf, wobei

durch die horizontale Achse das zur Dispersionskompensation vorgesehene Schema "Unter- bzw. Überkompensation" des optischen Übertragungssystems OTS und durch die vertikale Achse die Anzahl der kompensierten Faserstreckenabschnitte FDS des optischen Übertragungssystems OTS dargestellt ist. Daraus läßt sich erkennen, daß durch die erfindungsgemäße gleichmäßige Unterkompensation mehrerer Faserstreckenabschnitte FDS eine Erhöhung der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweite erzielt läßt. Die regenerationsfrei überbrückbare Übertragungsreichweite wird im weiteren Diagramm durch die Anzahl der kompensierten Faserstreckenabschnitte FDS des optischen Übertragungssystems OTS verdeutlicht.

Hierzu werden ein erstes bis fünftes optisches Datensignal OS1 bis OS5 einem optischen Test-Übertragungssystem OTS zugeführt, die jeweils eine unterschiedliche Eingangsleistung P aufweisen. Dabei weist das erste optische Datensignal OS1 eine Eingangsleistung von 4 dBm, das zweite optische Datensignal OS2 eine Eingangsleistung von 6 dBm, das dritte optische Datensignal OS3 eine Eingangsleistung von 9 dBm, das vierte optische Datensignal OS4 eine Eingangsleistung von 12 dBm sowie das fünfte optische Datensignal OS5 eine Eingangsleistung von 15 dBm auf.

Die Erhöhung der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweite wird besonders an dem Kurvenverlauf für das erste optische Datensignal OS1 deutlich, da das erste optische Datensignal OS1 bei einer Unterkompensation von ca. 0,5 km einer Standard-Einmodenfaser (SSMF) über nahezu 120 Faserstreckenabschnitte FDS ohne Regeneration übertragen werden kann. Hierbei wird der jeweilige Faserstreckenabschnitt FDS jeweils durch die dispersionskompensierende Faser DCF soweit kompensiert, daß eine Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}}$  vorliegt, die einem unkompensierten optischen Faserstück der Länge eines halben Kilometers (0,5 km) entspricht.

#### Patentansprüche

1. Optisches Übertragungssystem (OTS) bestehend aus mehreren optischen Faserstreckenabschnitten (FDS) mit jeweils einer optischen Faser (SSMF) und einer Dispersionskompensationseinheit (DCF), **dadurch gekennzeichnet**, daß Dispersionskompensationseinheiten ( $DCF_1$  bis  $DCF_Q$ ) vorgesehen sind, die die Faserdispersion ( $d$ ) von mehreren Faserstreckenabschnitten ( $FDS_1$  bis  $FDS_Q$ ) derart kompensieren, daß die verbleibende Rest-Dispersion ( $D_{\text{rest}}$ ) pro kompensierten Faserstreckenabschnitt ( $FDS_1$  bis  $FDS_Q$ ) zumindest nahezu gleichmäßig um jeweils denselben Dispersionsbetrag ( $\Delta D$ ) ansteigt.
2. Optisches Übertragungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Übertragungssystem (OTS) eine durch Fasernichtlinearitäten und die Faserdispersion ( $d$ ) hervorgerufene, akkumulierte Rest-Dispersion ( $D_{\text{akk}}$ ) aufweist, die mit zunehmender Datenrate nahezu linear abnimmt.
3. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Dispersionskompensationseinheiten ( $DCF_1$  bis  $DCF_4$ ) zur Kompensation der Faserdispersion ( $d$ ) von allen optischen Faserstreckenabschnitten ( $FDS_1$  bis  $FDS_4$ ) vorgesehen sind.
4. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß alle optischen Faserstreckenabschnitte ( $FDS_1$  bis  $FDS_4$ ) des optischen Übertragungssystems (OTS) nahezu dieselbe Länge aufweisen.

5. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein eine optische Faser (SSMF<sub>1</sub>) und eine Dispersionskompensationseinheit ( $DCF_1$ ) aufweisender Faserstreckenabschnitt ( $FDS_1$ ) ein optisches Übertragungsmodul (M) realisiert.

5. Optisches Übertragungssystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Übertragungssystem (OTS) aus mehreren in Serie angeordneten optischen Übertragungsmodulen (M) gebildet werden kann.

6. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Fasern (SSMF) der Faserstreckenabschnitte (FDS) eine Mindestlänge von 20 Kilometern aufweisen.

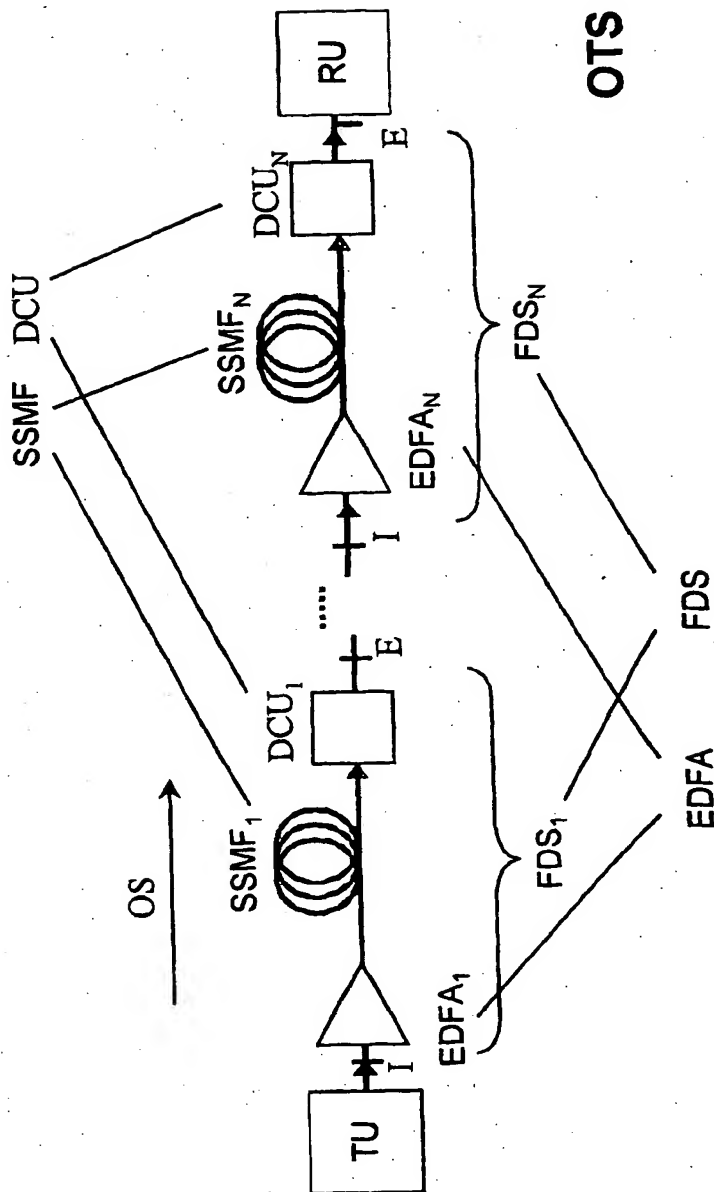
7. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Übertragungssystem (OTS) einen bidirektionalen Betriebsmodus aufweist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

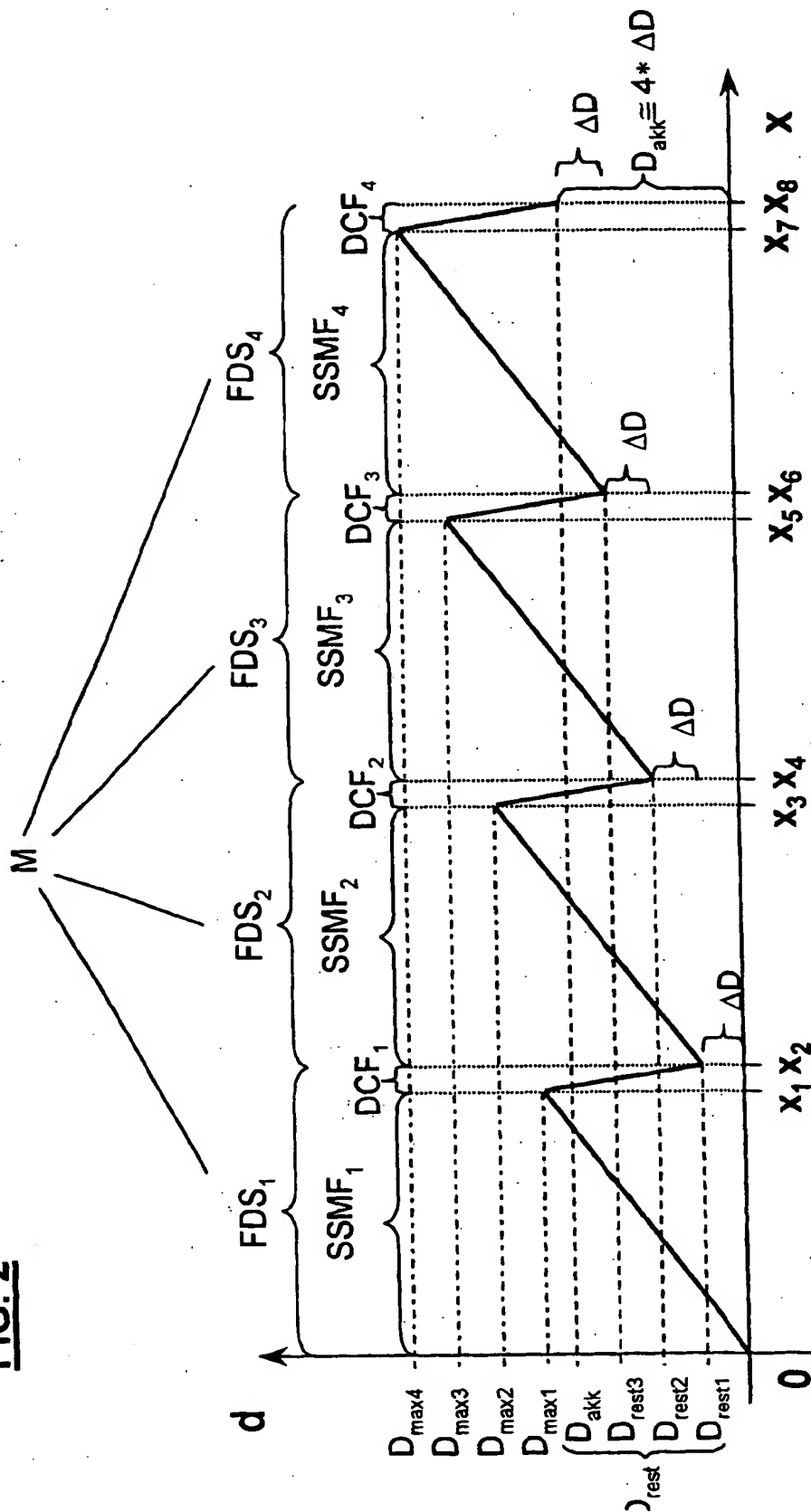
---

**FIG. 1**





**FIG. 2**



DCS

**FIG. 3**

